УДК 62-83

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ЛОГИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО СРАВНЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ

А.В. Бубнов

Омский государственный технический университет
E-mail: info@omgtu.ru

Проведен анализ алгоритмов построения импульсного частотно-фазового дискриминатора для электропривода с фазовой синхронизацией, и разработано многофункциональное логическое устройство сравнения, позволяющее повысить качество регулирования электропривода.

При разработке электропривода для обзорно-поисковых систем перспективными являются системы управления, работающие в режиме фазовой автоподстройки частоты вращения (ФАПЧВ) [1] (рис. 1, где ЧЗБ – частотозадающий блок, формирующий импульсы опорной частоты $f_{оп}$; ИДЧ – импульсный датчик частоты вращения, формирующий импульсы частоты обратной связи $f_{ос}$; ИЧФД – импульсный частотно-фазовый дискриминатор; КУ – корректирующее устройство; БДПТ – бесконтактный двигатель постоянного тока). Такие системы характеризуются высокими точностными показателями, хорошими динамическими свойствами и широким диапазоном регулирования.

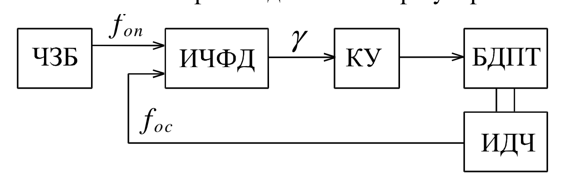


Рис. 1. *Функциональная схема электропривода с фазовой синхронизацией*

Целью данной статьи является разработка многофункционального логического устройства сравнения (ЛУС) для электропривода с фазовой синхронизацией, построенного на основе принципа ФАПЧВ, в контуре регулирования которого для повышения качества управления используется информация о текущем режиме работы привода.

Введение дополнительных корректирующих сигналов в канал регулирования электропривода с фазовой синхронизацией в режимах насыщения ИЧФД [2] позволяет уменьшить время регулирования в переходных режимах работы. При этом сигнал, пропорциональный ошибке по угловой скорости $\Delta\omega$ в режимах насыщения импульсного частотно-фазового дискриминатора, формируется путем дифференцирования выходного сигнала (пропорционального ошибке по углу $\Delta\alpha$) дополнительного фазового дискриминатора (ФД) [3], поскольку его характеристика не имеет участков насыщения.

Выходной сигнал фазового дискриминатора при изменении фазовой ошибки $\Delta\varphi$ частот $f_{оп}$ и $f_{ос}$, в пределах, превышающих угловое расстояние между метками ИДЧ $\varphi_0=2\pi/z$, где z – количество меток ИДЧ, имеет разрывы, обусловленные нелинейностью характеристики ФД. При дифференцирова-

нии такого сигнала наблюдаются выбросы напряжения, поступающие в основной канал регулирования в виде помехи.

Указанный недостаток отсутствует в разработанной схеме фазового дискриминатора с расширенной до $\pm 1{,}5\varphi_0$ линейной зоной характеристики [4]. Разрывы в выходном нормированном сигнале фазовой ошибки $\Delta\overline{\varphi}=\Delta\varphi/(2p)$ в рабочей зоне $\pm 1{,}5\varphi_0$ устраняются путем получения сигнала $\Delta\overline{\varphi}'$ в результате суммирования сигнала $\Delta\overline{\varphi}$ с сигналами индикации насыщения ИЧФД P и T при $f_{on}>f_{oc}$ и $f_{on}<f_{oc}$ соответственно (рис. 2, где ДУ – дифференцирующее устройство, УК – управляемый ключ, БУ – блок управления).

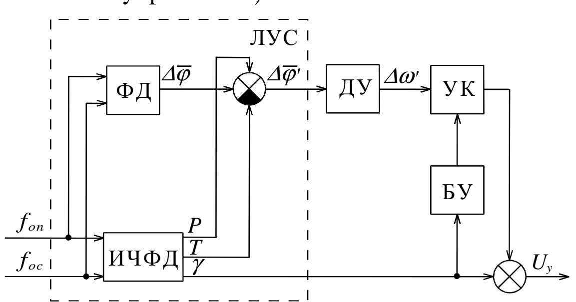


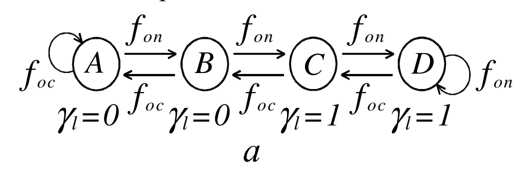
Рис. 2. Функциональная схема ЛУС с расширенной линейной зоной характеристики

Для обеспечения нормальной работы рассмотренного способа регулирования электропривода с фазовой синхронизацией необходима разработка многофункционального ЛУС, обеспечивающего формирование сигналов индикации режимов насыщения ИЧФД P и T, а также формирование сигнала фазовой ошибки $\Delta\overline{\varphi}$ электропривода в режимах насыщения.

Алгоритм работы ИЧФД удобно отображать с помощью графа переходов, в узлах которого указаны выходные состояния импульсного частотно-фазового дискриминатора, а ветви и петли графа обозначены состояниями входов ИЧФД. Наиболее простой алгоритм работы ИЧФД [5] отображен на рис. 3, *а*, в виде графа переходов с четырьмя выходными состояниями (A, B, C, D) импульсного частотно-фазового дискриминатора (индекс l показывает, что γ формируется в виде логического сигнала).

Каждый входной импульс частоты f_{on} переводит ИЧФД в соседнее состояние в направлении от A к D, а каждый импульс частоты f_{oc} – в обратном направлении. Режиму фазового сравнения соответствует поочередная смена состояний B и C, при этом выходной сигнал γ_l представляет собой последовательность импульсов частоты f_{on} с длительностью, пропорциональной разности фаз $\Delta\varphi$ сравниваемых частот f_{on} и f_{oc}. Режимам насыщения соответствует поочередная смена состояний А и В (при $f_{on}<f_{oc}$, $\gamma_l=0$) или С и D (при $f_{on}>f_{oc}$, $\gamma_l=1$).

Переход из одного режима в другой возможен только при приходе двух (или более) импульсов одной частоты между двумя соседними импульсами другой частоты в соответствии с графом переходов. На рис. 4 работа ИЧФД поясняется с помощью временных диаграмм.



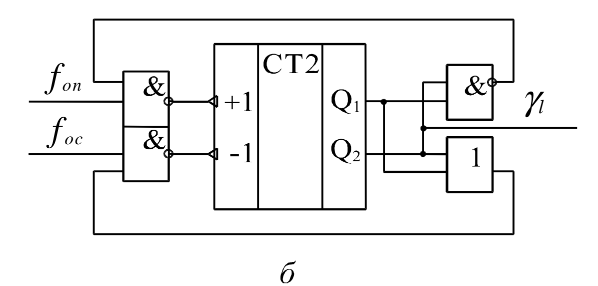


Рис. 3. Граф переходов и функциональная схема ИЧФД с обычным алгоритмом работы

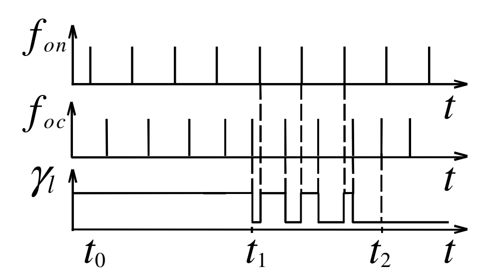


Рис. 4. Временные диаграммы работы ИЧФД

Интервал времени $t_0<t<t_1$ соответствует режиму разгона электропривода ($f_{on}>f_{oc}$, $\gamma_l=1$). В момент времени t_1, соответствующий приходу двух подряд импульсов частоты f_{oc} между двумя соседними импульсами частоты f_{on}, ИЧФД переходит в пропорциональный режим работы (режим фазового сравнения), и на выходе γ_l появляется последовательность импульсов с периодом T_{on} и длительностью τ, пропорциональной фазовому рассогласованию $\Delta\varphi$ частот f_{on} и f_{oc}.

В момент времени t_2 повторяется ситуация, когда два импульса частоты проходят между двумя соседними импульсами частоты f_{on}. В результате ИЧФД переходит в режим насыщения, соответствующий режиму торможения электропривода ($f_{on}<f_{oc}$, $\gamma_l=0$).

Рассмотренный алгоритм реализуется в ИЧФД на основе двухразрядного реверсивного счетчика импульсов СТ2 (рис. 3, *б*), имеющего насыщение при значениях выходного двоичного кода или в зависимости от направления подсчета импульсов [5, 6].

Основным недостатком рассмотренного алгоритма работы ИЧФД является то, что состояния B и C на графе переходов (рис. 3, *а*) соответствуют одновременно режиму фазового сравнения и режимам насыщения ИЧФД, что при использовании такого импульсного частотно-фазового дискриминатора в электроприводе затрудняет определение в произвольный момент времени режима работы электропривода и, в результате, ограничивает возможности по реализации регулятора в электропри-

воде с фазовой синхронизацией. В связи с этим вышерассмотренный импульсный частотно-фазовый дискриминатор не может использоваться в электроприводах с эффективными, но сложными алгоритмами управления, требующими информации о текущем режиме работы ИЧФД.

Для устранения этого недостатка в импульсном частотно-фазовом дискриминаторе [7] использованы два блокирующих триггера Т1, Т2 (рис. 5, *в*, где ЛУ – логическое устройство, ЛБ – схема логической блокировки), выходные сигналы которых определяют режим работы ИЧФД. При этом на графе переходов (рис. 5, *а*) происходит разделение состояний *B* и *C* (рис. 3, *а*), соответствующих режиму фазового сравнения и режимам насыщения одновременно.

На рис. 5, *б,* граф переходов представлен в другой более наглядной форме, и изменено обозначение состояний в соответствии с режимами работы электропривода. В результате на графе переходов четко выделяются три режима работы ИЧФД: насыщения при разгоне электропривода *P*, пропорциональный *П* (режим фазового сравнения) и насыщения при торможении *T*.

Блокирующие триггеры предназначены для формирования информации о текущем режиме работы ИЧФД. Изменение выходных состояний триггеров осуществляется при приходе двух импульсов одной из сравниваемых частот $f_{оп}$ или f_{oc} между двумя соседними импульсами другой. Такие ситуации определяются с помощью логического устройства ЛУ (рис. 5, *в*), управляющего работой триггеров Т1, Т2.

Сигнал $\Delta\overline{\varphi}_l$, пропорциональный фазовой ошибке $\Delta\varphi$, формируется с помощью фазового дискриминатора ФД и преобразуется в выходной сигнал ИЧФД γ_l с помощью схемы логической блокировки ЛБ, работающей в соответствии с логической функцией $\gamma_l = P + \overline{T}\Delta\overline{\varphi}_l$.

Благодаря наличию двух блокирующих триггеров, формирующих информацию о режиме работы импульсного частотно-фазового дискриминатора, такой ИЧФД может применяться в электроприводах с фазовой синхронизацией, в которых реализуются алгоритмы управления, использующие информацию о текущем режиме работы электропривода.

К недостаткам такой реализации ИЧФД следует отнести ненадежную работу импульсного частотно-фазового дискриминатора, обусловленную зависимостью работы ЛУ от параметров входных импульсов частот $f_{оп}$ и f_{oc} и проявляющуюся в возможности возникновения сбоев в работе ИЧФД при незначительных отклонениях параметров импульсов частот $f_{оп}$ и f_{oc} от значений, при которых ЛУ нормально функционирует.

Для эффективного применения в системах регулирования, использующих информацию о режиме работы ЛУС, разработана схема ИЧФД (рис. 6, *в*) с синхронизацией работы блокирующих триггеров Т1, Т2 по импульсам опорной частоты $f_{оп}$ [8], что позволяет устранить зависимость работы ЛУ от значений параметров импульсов частот $f_{оп}$ и f_{oc}.

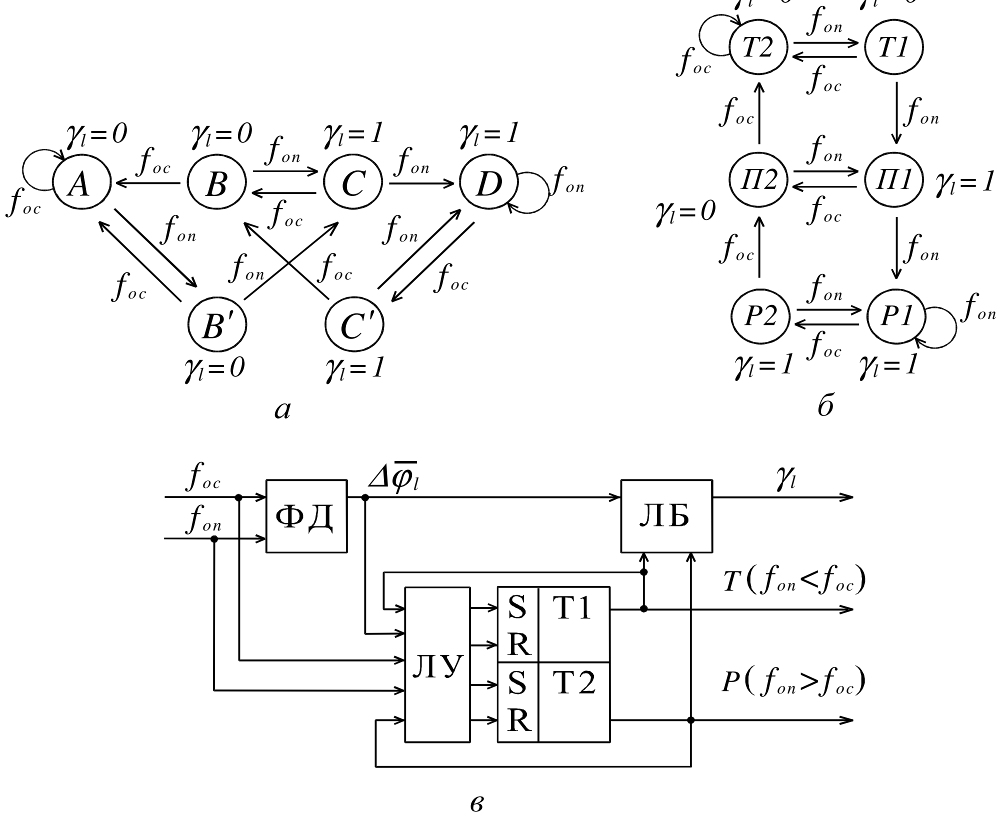


Рис. 5. *Графы переходов и функциональная схема ИЧФД с блокирующими триггерами*

Изменение алгоритма работы ИЧФД отражается на графе переходов (рис. 6, *а*) в разделении состояний П2 и Т2 (рис. 5, *б*). В более наглядном виде граф переходов представлен на рис. 6, *б*, где видно, что изменение режима работы ИЧФД осуществляется синхронизировано с импульсами частоты $f_{оп}$.

В предлагаемой схеме (рис. 6, *в*) ФД выполняется в виде суммирующего счетчика импульсов частоты $f_{ос}$ с коэффициентом пересчета равным трем с насыщением при достижении выходным кодом счетчика значения 10 и сбросом в 00 по импульсам частоты $f_{оп}$. В результате такой реализации счетчик подсчитывает количество поступивших импульсов частоты $f_{ос}$ между двумя соседними импульсами частоты $f_{оп}$. Логическое устройство ЛУ в зависимости от состояния счетчика импульсов и значений выходных сигналов блокирующих триггеров Т1, Т2 формирует сигналы, поступающие на информационные входы блокирующих триггеров. Эти сигналы отражают требуемое изменение текущего режима работы ИЧФД и в момент прихода импульса частоты $f_{оп}$ запоминаются в блокирующих триггерах.

Если к моменту прихода импульса частоты $f_{оп}$ на счетчик поступил только один импульс частоты $f_{ос}$, то в триггерах сохраняется предыдущая информация. При отсутствии импульсов частоты $f_{ос}$ между двумя соседними импульсами частоты $f_{оп}$ в триггерах происходит изменение информации следующим образом:

а) из режима насыщения при торможении ($f_{оп}<f_{ос}$) происходит переход в режим фазового сравнения;

б) из режима фазового сравнения – переход в режим насыщения при разгоне ($f_{оп}>f_{ос}$);

в) режим насыщения при разгоне ($f_{оп}>f_{ос}$) сохраняется.

При приходе двух или более импульсов частоты $f_{ос}$ между двумя соседними импульсами частоты $f_{оп}$ изменение режимов происходит в обратном порядке.

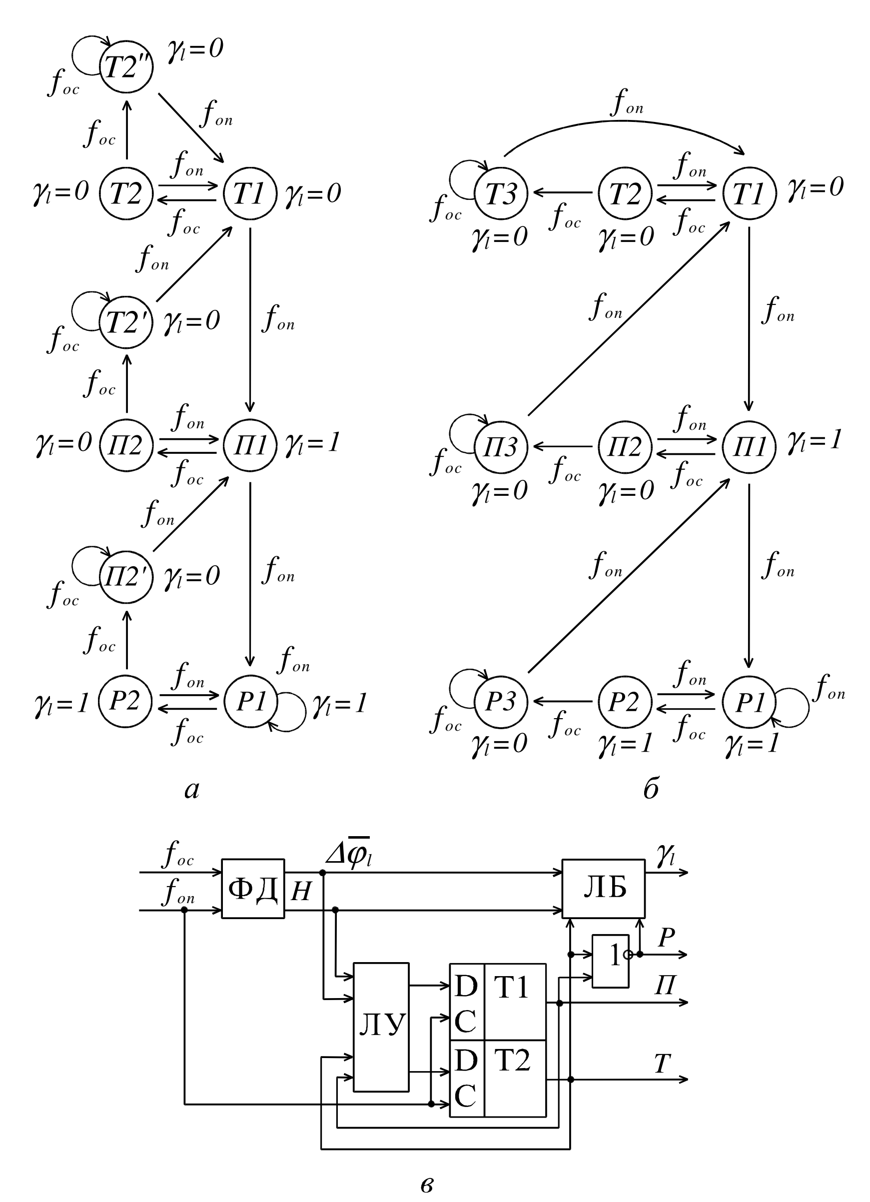


Рис. 6. *Графы переходов и функциональная схема ИЧФД с синхронизацией работы блокирующих триггеров*

Высокий уровень напряжения H на выходе второго разряда счетчика импульсов в ФД соответствует состояниям $P3$, $П3$ или $T3$ графа переходов (рис. 6, *б*) и используется в схеме ЛБ для опережающей разблокировки ИЧФД в случае прихода подряд двух или более импульсов частоты f_{oc} между двумя соседними импульсами частоты $f_{оп}$ в соответствии с логической функцией $\gamma_l=(P+\overline{T}\Delta\overline{\varphi}_l)\overline{H}$.

Разработанный алгоритм работы ЛУС обеспечивает формирование сигналов индикации режимов насыщения ИЧФД P и T, а также формирование на выходе ФД сигнала фазовой ошибки $\Delta\overline{\varphi}$ электропривода в режимах насыщения, что позволяет использовать разработанное многофункциональное ЛУС в предлагаемом способе регулирования электропривода, использующем дополнительные корректирующие сигнала в режимах насыщения ИЧФД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трахтенберг Р.М. Импульсные астатические системы электропривода с дискретным управлением. – М.: Энергоиздат, 1982. – 168 с.
2. Бубнов А.В. Вопросы анализа и синтеза прецизионных систем синхронно-синфазного электропривода постоянного тока: Научное издание. – Омск: Омский научный вестник, 2004. – 132 с.
3. А.с. 1302411 СССР. МКИ[4] Н02Р 5/06. Стабилизированный электропривод / А.М. Сутормин, В.Н. Зажирко, В.Г. Кавко. Заявлено 10.07.85; Опубл. 07.04.87, Бюл. № 13. – 4 с.: ил.
4. А.с. 1508334 СССР. МКИ[4] Н02Р 5/06. Стабилизированный электропривод / А.В. Бубнов, В.Г. Кавко, А.М. Сутормин. Заявлено 02.11.87; Опубл. 15.09.89, Бюл. № 34. – 4 с.: ил.
5. Стребков В.И. Импульсный частотно-фазовый дискриминатор на интегральных микросхемах // Электронная техника в автоматике / Под ред. Ю.И. Конева. – М.: Советское радио, 1977. – Вып. 9. – С. 223–230.
6. А.с. 569000 СССР. МКИ[2] Н03D 13/00. Импульсный частотно-фазовый дискриминатор / В.И. Стребков. Заявлено 04.10.74; Опубл. 15.08.77, Бюл. № 30. – 3 с.: ил.
7. А.с. 484621 СССР. МКИ[2] Н03D 13/00. Частотно-фазовый компаратор / А.В. Буравцев, Е.Е. Макаренко. Заявлено 04.03.74; Опубл. 15.09.75, Бюл. № 34. – 2 с.: ил.
8. А.с. 1589373 СССР. МКИ[5] Н03D 13/00. Частотно-фазовый дискриминатор / А.В. Бубнов, В.Г. Кавко, А.М. Сутормин. Заявлено 23.05.88; Опубл. 30.08.90, Бюл. № 32. – 5 с.: ил.